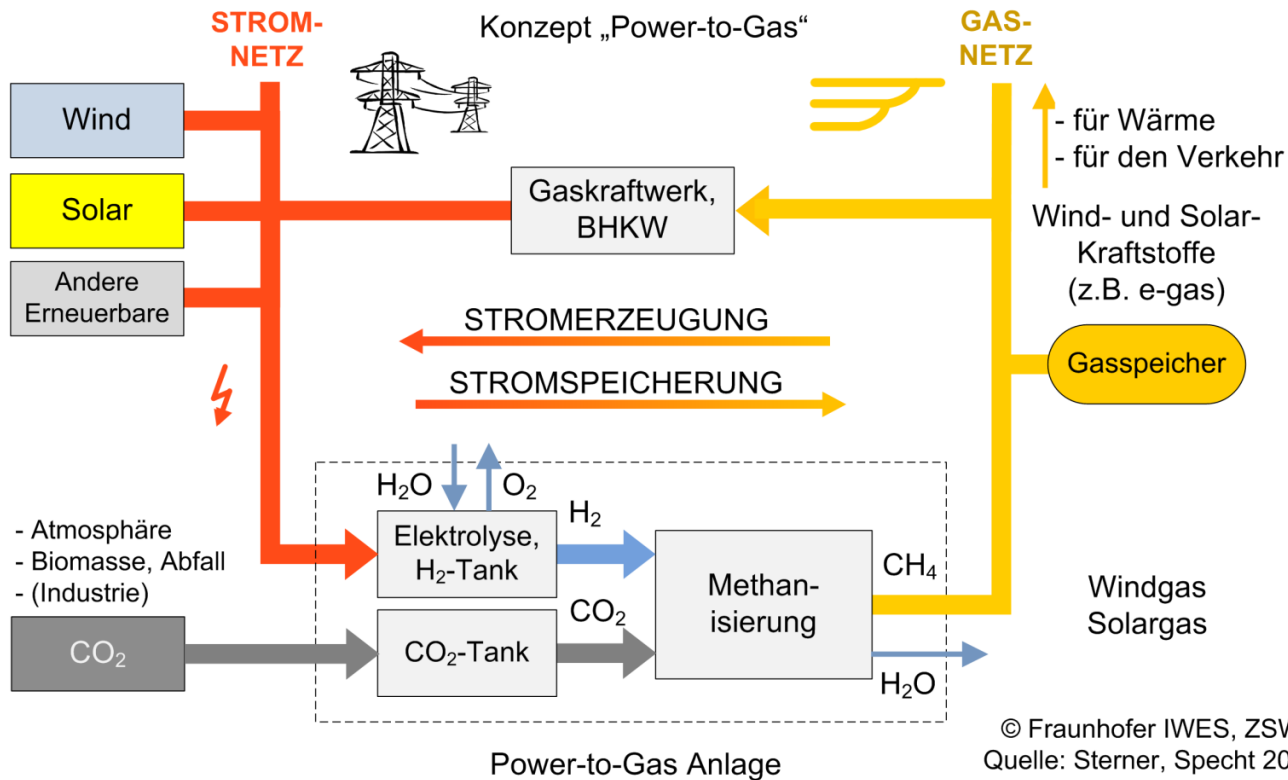


Power-to-Gas: Energiespeicherung durch die Kopplung von Strom- und Gasnetzen

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

Mareike Jentsch, Tobias Trost, Dr. Carsten Pape, Norman Gerhardt



18.04.2012

Pfaffenhofen

Energie-für-alle
Woche

HOCHSCHULE
REGENSBURG
UNIVERSITY
OF APPLIED
SCIENCES

Fraunhofer
IWES

Inhalt

1) Was führt uns zu Power-to-Gas?

Gasspeicher als Schlüsselement in der Energiewende

2) Wie funktioniert Power-to-Gas?

Technologie, Chancen, Risiken

3) Wie schaut der Weg für Power-to-Gas aus?

Eckpfeiler der Energiewende

Zukunftschance Windkraftstoffe, Solarkraftstoffe

4) Zusammenfassung

Prinzipielle Entwicklung des Energiebedarfs

Erneuerbarer Strom wird zur Primärenergie → all-electric-world

Heute

2050

Bedarf und neue Verbindungen

STROM

STROM

WÄRME

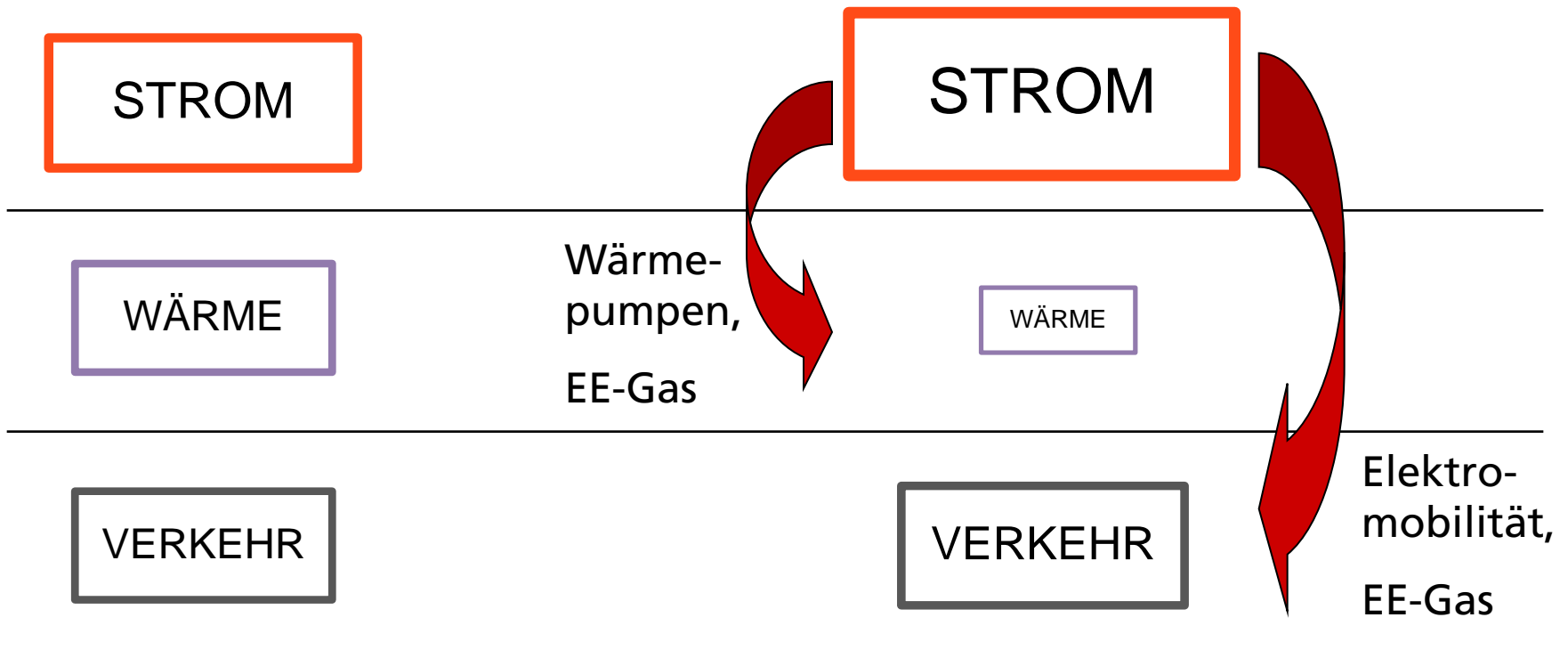
Wärme-
pumpen,
EE-Gas

WÄRME

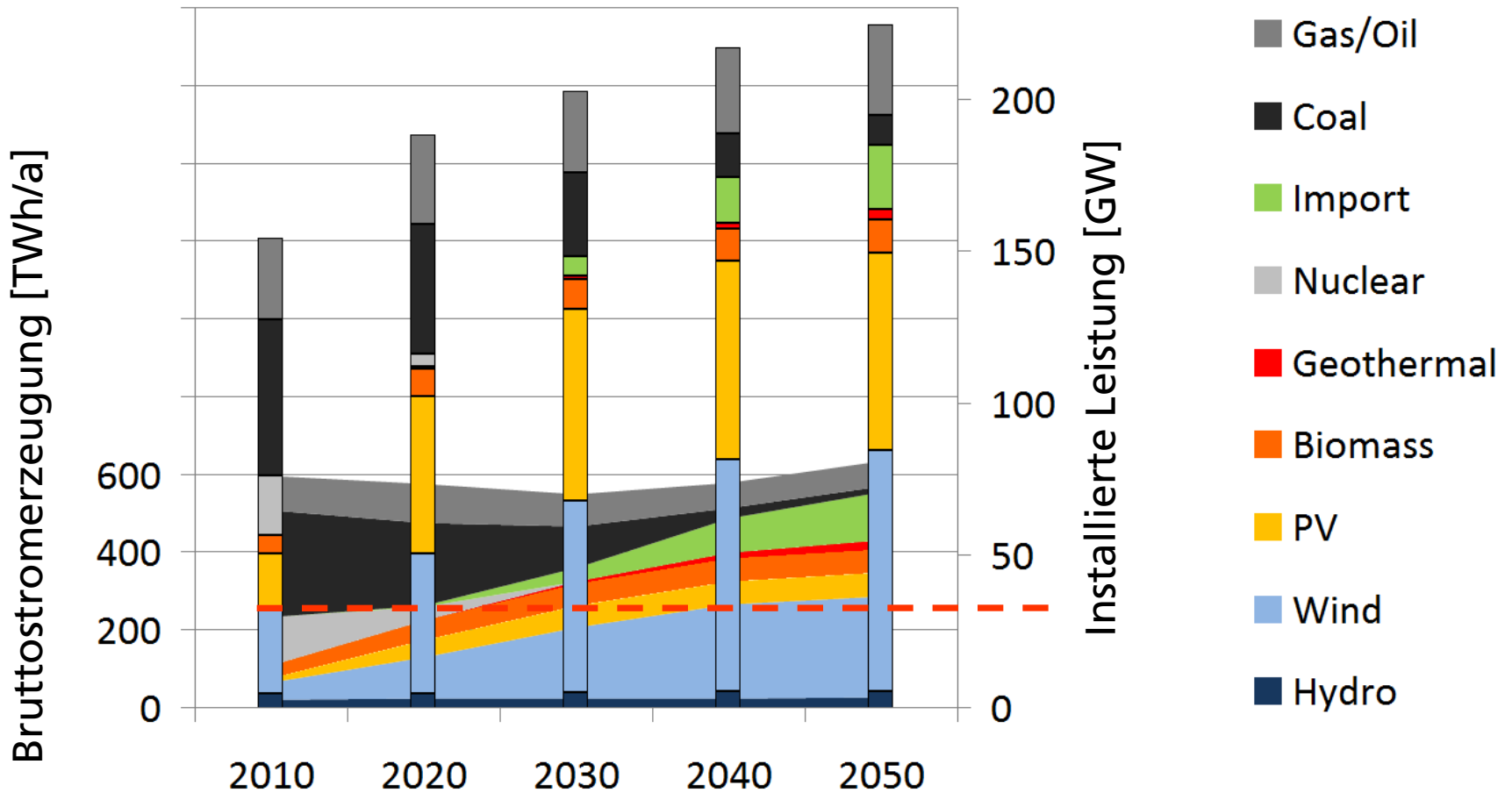
VERKEHR

VERKEHR

Elektro-
mobilität,
EE-Gas



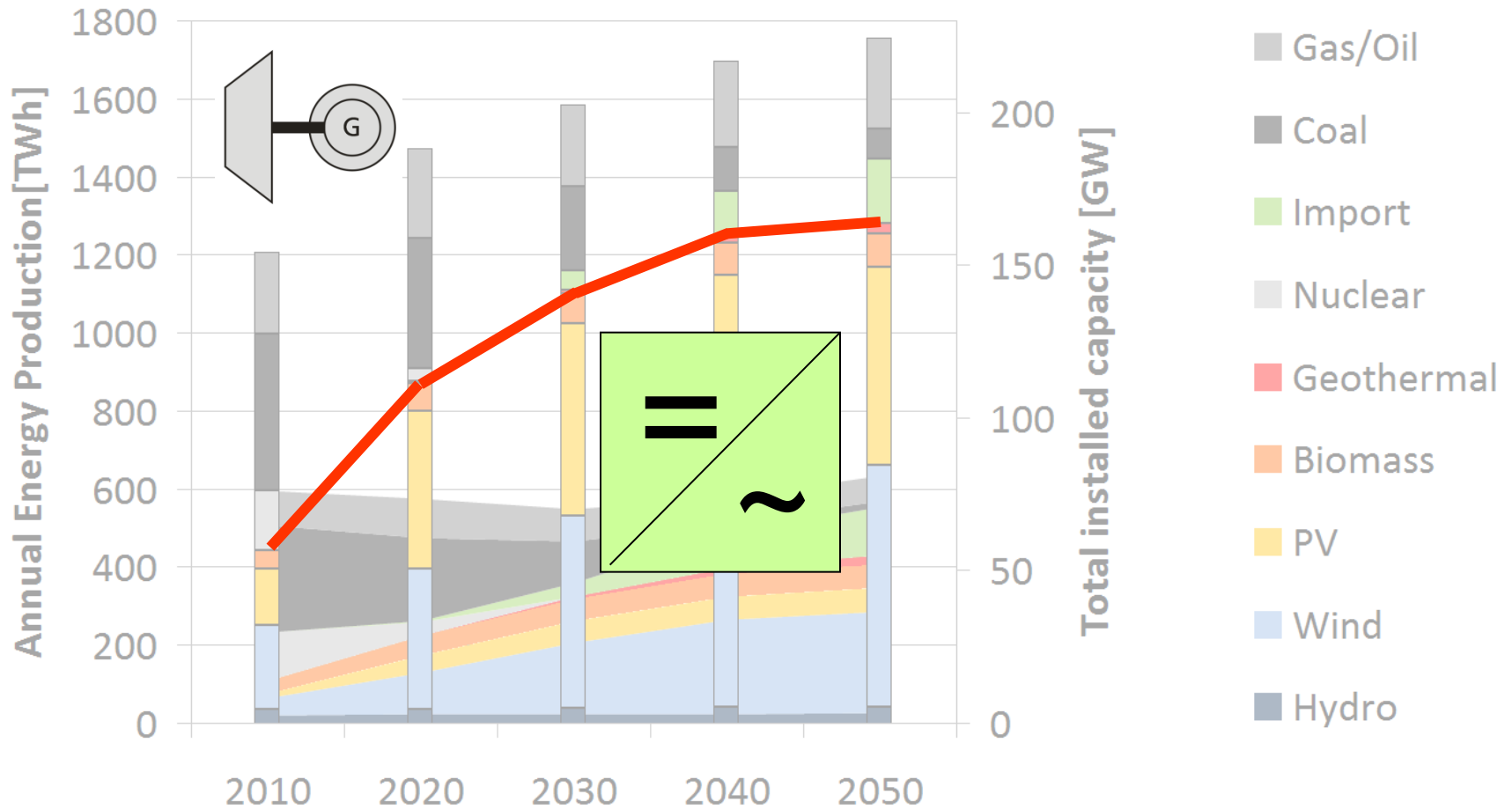
Langfristszenarien 2010 als Beispiel: Wind als tragende Säule Leistung vs. Energie



Quelle: Nitsch et al, 2011, Langfristszenarien 2010

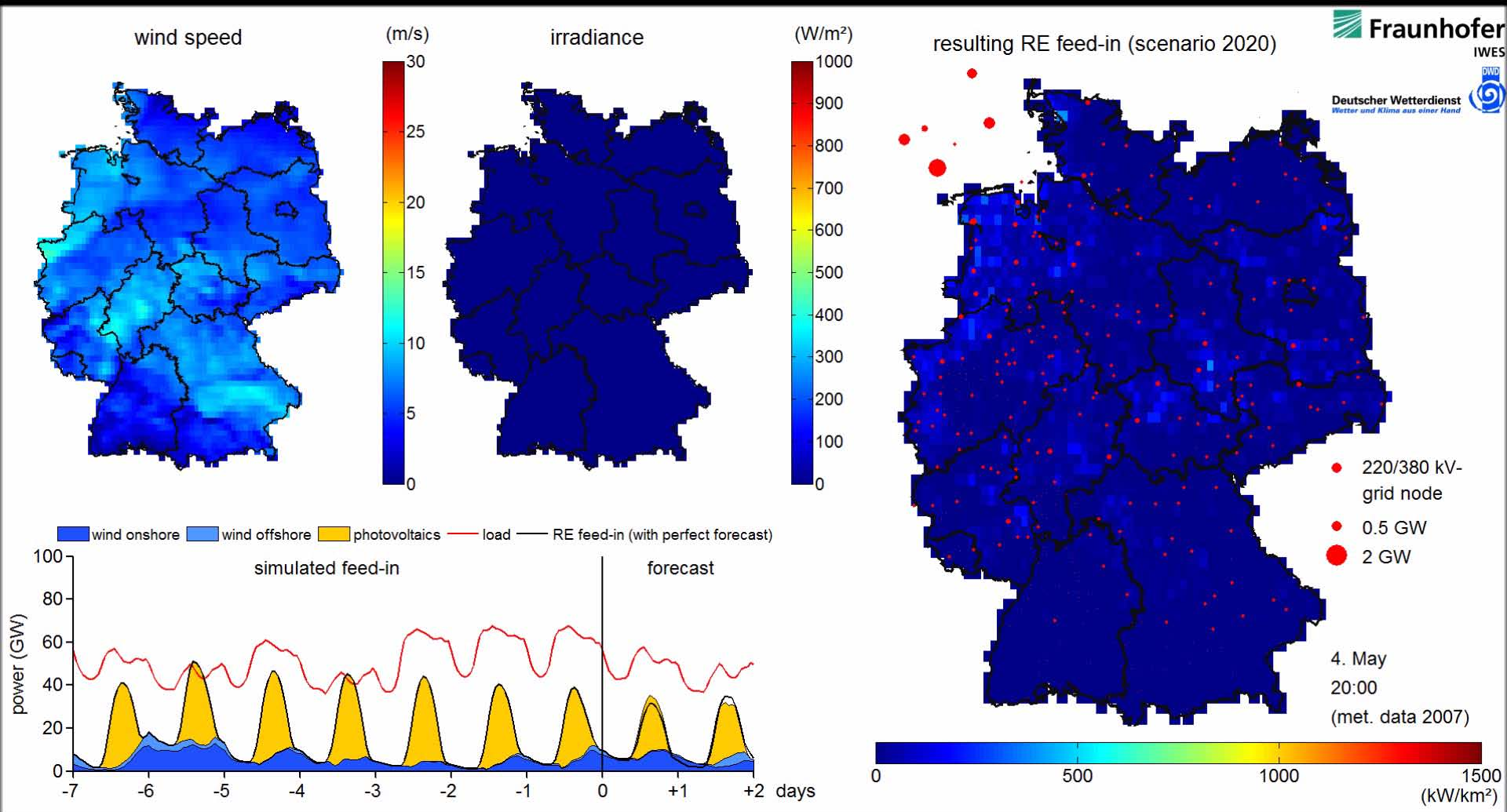
Transformation zu Inverter-dominierten Systemen

EE sollen Systemstabilität übernehmen → Inverter im Regelleistungsmarkt



Quelle: Nitsch et al, 2011, Langfristszenarien 2010

Weiterer EE-Ausbau erfordert flexiblen Kraftwerkspark und weitgehende Ausgleichsmaßnahmen (Netzausbau, Lastmanagement, Speicher)



Nationaler Aktionsplan erneuerbare Energien: 2020 – 39% EE-Anteil

Ausgleichsmaßnahmen für Fluktuationen

Reihenfolge

■ Erzeugungs- und Lastmanagement

- Flexible Kraftwerke (Gas, Biogas)
- Flexibler Verbrauch

1

■ Transport

- Netzausbau
- Europäisches Netz für Strom und Gas

2

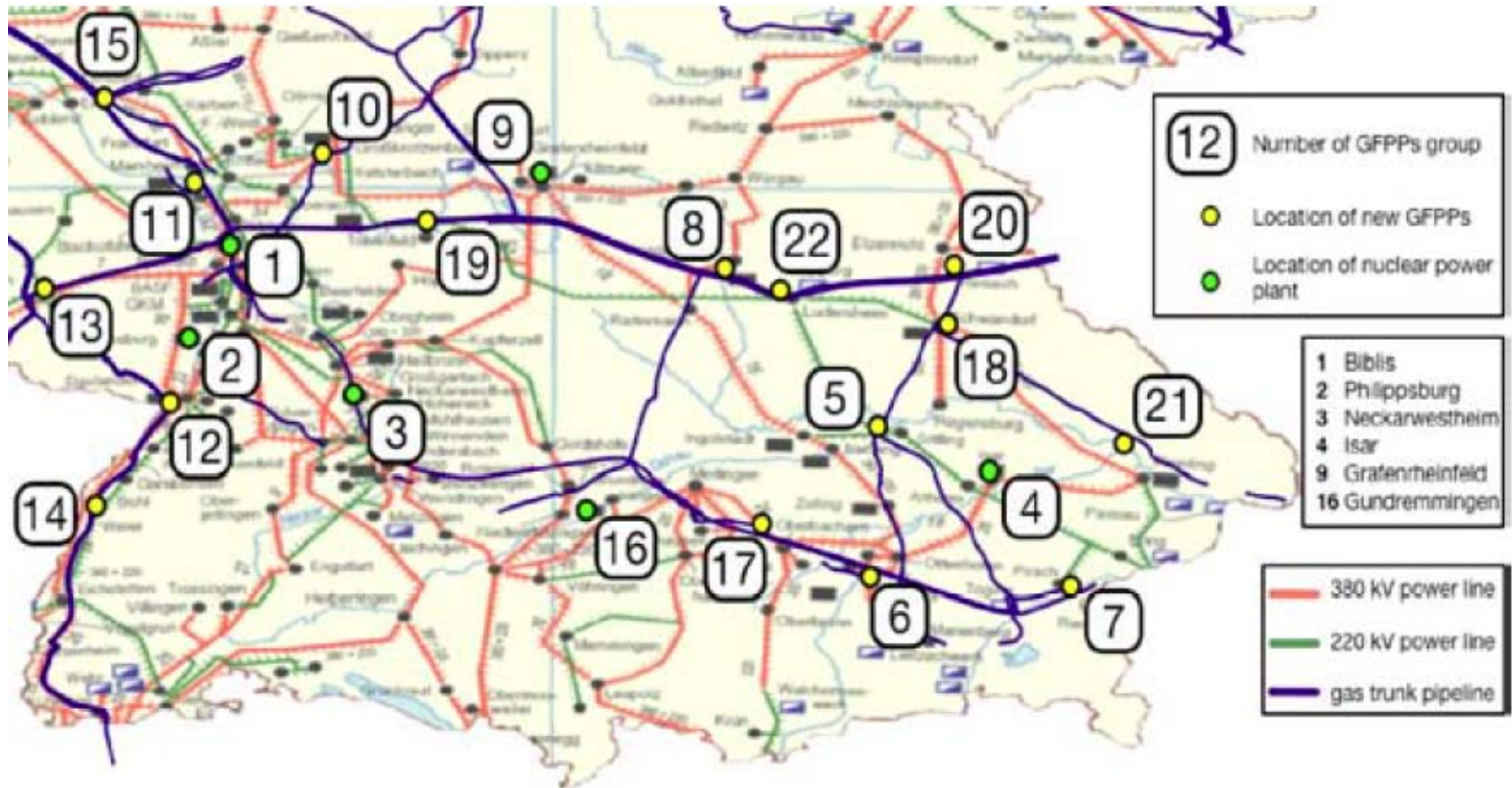
■ Speicher

- Kurzzeit (Tage): Pumpspeicher, Druckluft, Batterien
- Langzeit (Saisonal): 1. (Pump)Speicher in Skandinavien,
2. Wind / Solarstrom im Gasnetz
als erneuerbares Gas (Methan, Wasserstoff)

3



Ersatz von AKW in Süddeutschland große Herausforderung Kostengünstigste Lösung: Windenergie + Gastechnologien

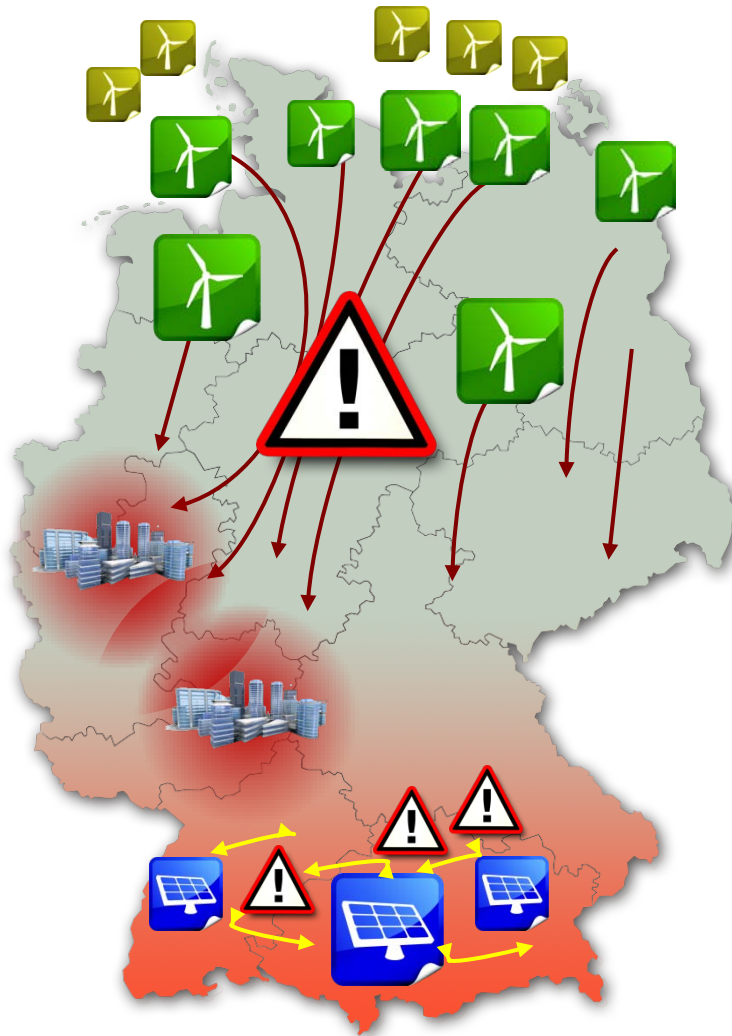









→ Gesicherte Leistung vorwiegend durch Gaskraftwerke / BHKW
Biomasse, Wasserkraft und Geothermie bereitstellen

Netzausbau elementar, aber nicht die "finale" Lösung

- was lokal hergestellt und verbraucht wird, muss nicht transportiert werden

2



-  Windenergie
-  Windenergie in Planung
-  Photovoltaik- / Bioenergieanlagen
-  Engpass
-  Ballungszentrum
-  Übertragungsnetz
2000 km (ca. 5% dazu), umgesetzt 90 km
-  Verteilnetz
PV: NetzUMbau; Wind: Netzplanung

UBA Umweltbundesamt –100% regeneratives Szenario

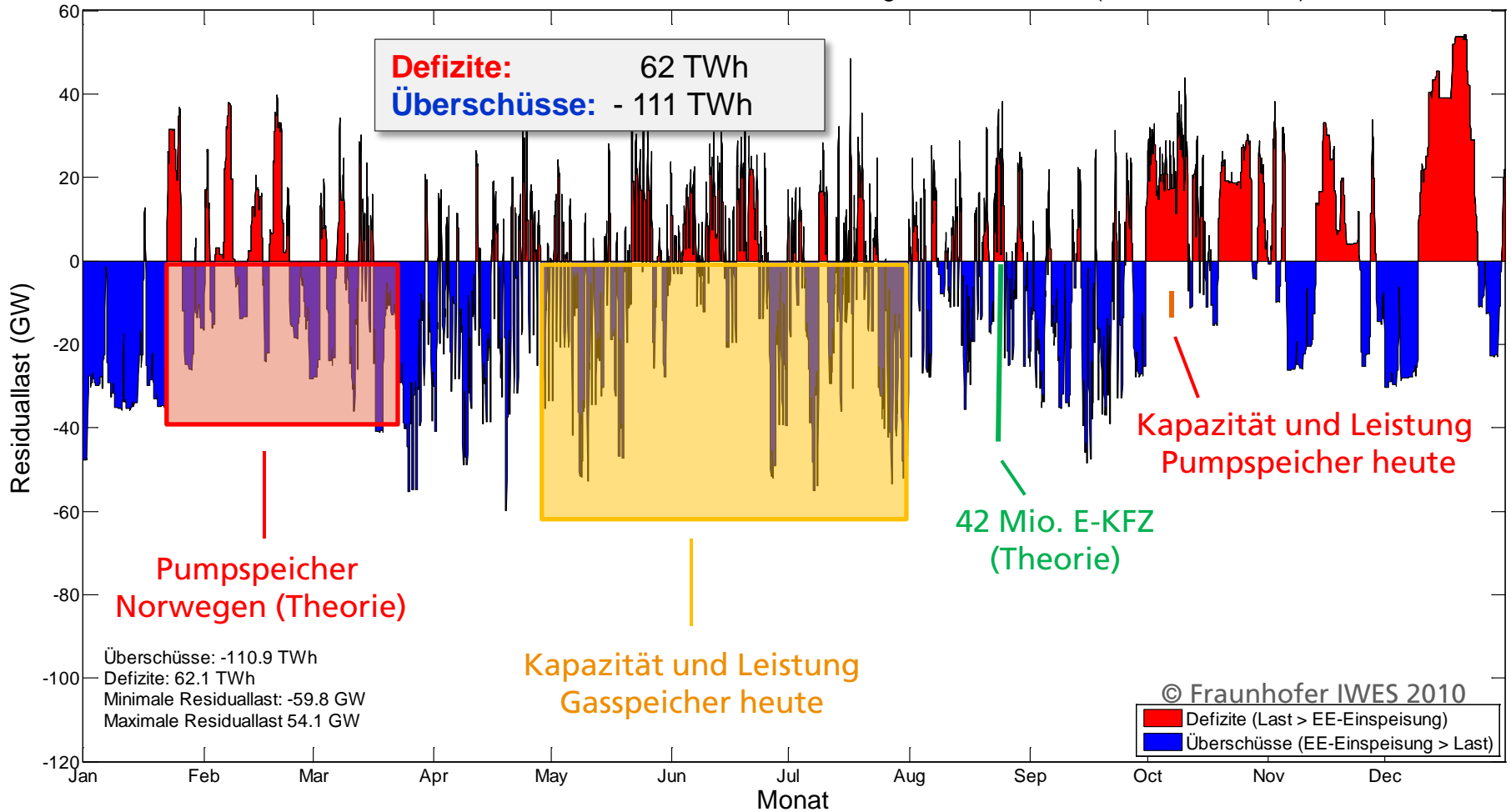


	SZENARIO „REGIONENVERBUND“	
	LEISTUNG (GW)	ERTRAG (TWh)
Photovoltaik	120	104
Windenergie an Land	60	170
Windenergie auf See	45	177
Wasserkraft	5,2	22
Geothermie	6,4	50
Abfallbiomasse (Biogas)	23,3	11

	Technisches Potential
H ₂ -Kavernen (Power-to-Gas)	110 TWh _{th} = 66 TWh _{el} bei η= 60%
EE-Methan (Power-to-Gas)	514 TWh _{th} = 308 TWh _{el} bei η = 60%
Pumpspeicher	ca. 0,06 TWh _{el}

Rein regenerative Energieversorgung hat sehr großen Speicherbedarf trotz idealem Netzausbau, Energiemanagement und Pumpspeichern

Residuallast nach allen Verbrauchern und Lastmanagement und PSW (Meteo-Jahr 2007)



→ Gasspeicher haben die 1500 bis 3000-fache Kapazität aller Pumpspeicher (bei $\eta_{GT,GuD} = 28-55\%$)

Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% Strom aus EE

Inhalt

1) Was führt uns zu Power-to-Gas?

Gasspeicher als Schlüsselement in der Energiewende

2) **Wie funktioniert Power-to-Gas?**

Technologie, Kosten, Chancen, Risiken

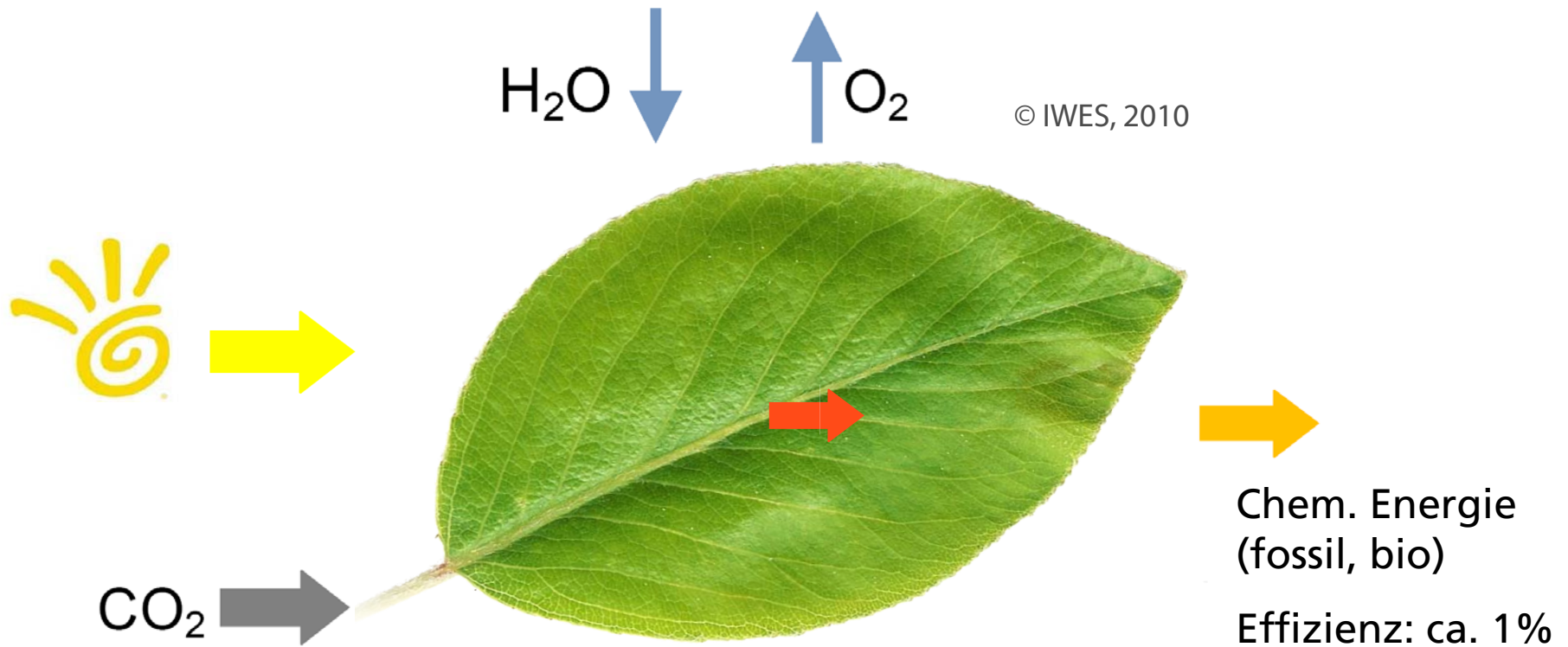
3) Wie schaut der Weg für Power-to-Gas aus?

Eckpfeiler der Energiewende

Zukunftschance Windkraftstoffe, Solarkraftstoffe

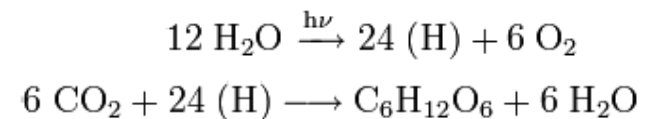
4) Zusammenfassung

Wie speichert die Natur Energie über lange Zeiträume?



Energiespeicherung

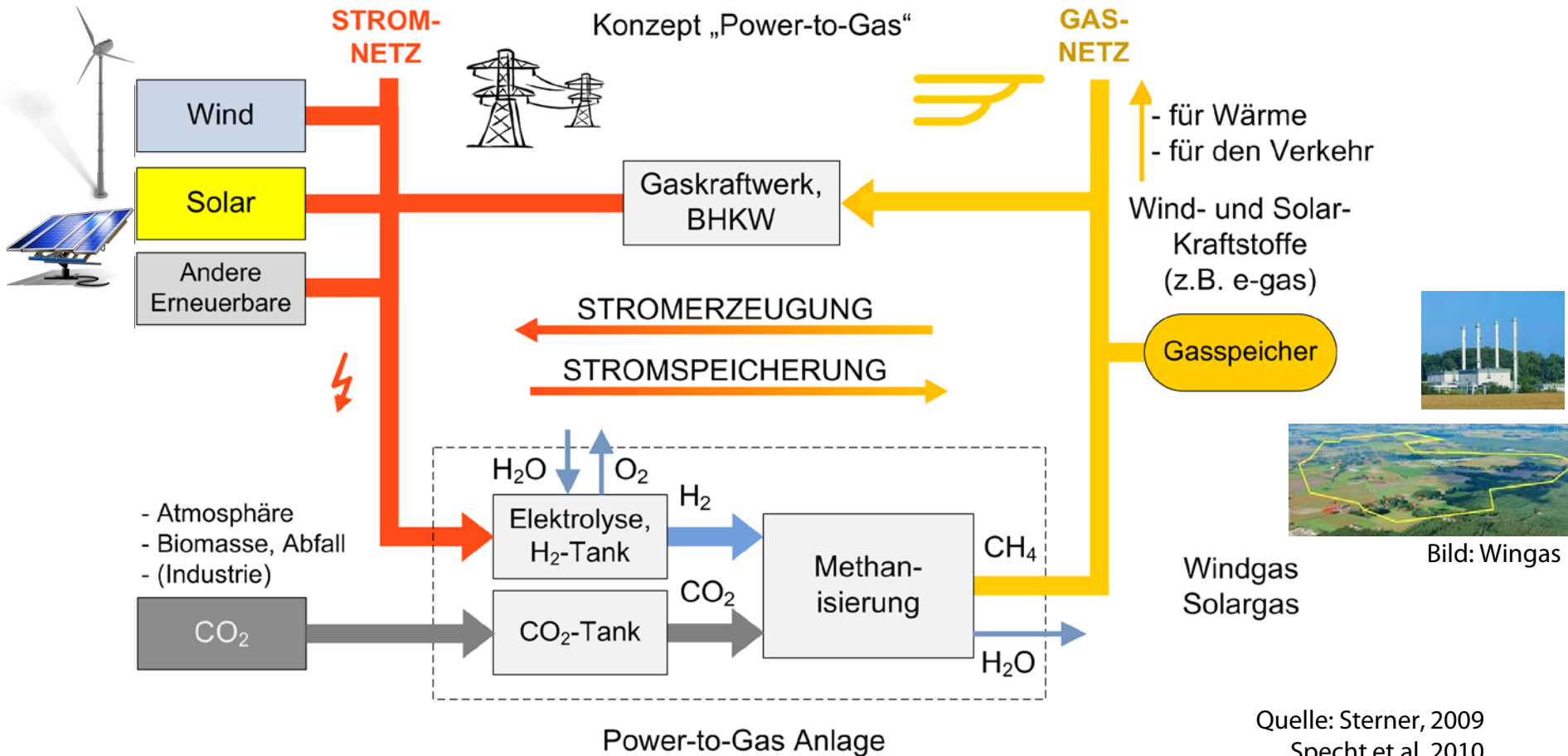
Kernprozess: 1) Spalten von Wasser
2) H_2 reagiert mit CO_2



Erneuerbares Gas – Power-to-Gas

Energiespeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

→ Technische Nachbildung der Photosynthese



Quelle: Sterner, 2009
Specht et al, 2010

Langzeitspeicherung: Wasserstoff vs. Methan (H₂ vs. CH₄)

	H ₂	CH ₄
Wirkungsgrad - der Herstellung - der Verstromung	54 - 77% gleich	49 - 65% gleich
Infrastruktur - Strom - Wärme - Verkehr	Zusatzgas - limitiert - limitiert - nicht kompatibel	Austauschgas - kompatibel - kompatibel - kompatibel
Energiedichte = Platzbedarf für Speicher	10 MJ / Nm ³	33 MJ / Nm ³
Transformations-Kosten	Einspeicherung Strom-H ₂ Speicherung Auspeicherung H ₂ -Strom Transport / Pipelines	Nur Einspeicherung

H₂-Einspeisegrenzen derzeit:
 2% Fahrzeuge
 1% Gaskraftwerke
 0,5% Messinstrumente
 Speicher unbekannt

Wirkungsgrade von Power-to-Gas

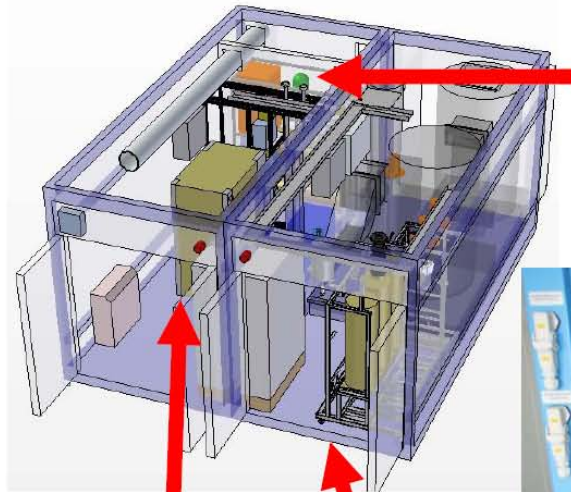
Pfad	Wirkungsgrad	Randbedingung
Strom-zu-Gas 2/3		
Strom → Wasserstoff	54 – 72%	bei Kompression auf 200 bar (Arbeitsdruck der meisten Gasspeicher)
Strom → Methan (SNG)	49 – 64%	
Strom → Wasserstoff	57 – 73%	bei Kompression auf 80 bar (Einspeisung Fern/Transportleitung)
Strom → Methan (SNG)	50 – 64%	
Strom → Wasserstoff	64 – 77%	ohne Kompression
Strom → Methan (SNG)	51 – 65%	
Strom-zu-Gas-zu-Strom 1/3		
Strom → Wasserstoff → Strom	34 – 44%	bei Verstromung mit 60% und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → Strom	30 – 38%	
Strom-zu-Gas-zu-KWK (Wärme und Strom) 1/2		
Strom → Wasserstoff → KWK	48 – 62%	bei 40% Strom & 45% Wärme und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → KWK	43 – 54%	

vs. Norwegische Pumpspeicher mit 65-68% (75% vor Ort + 7-10% Verlust durch Stromtransport)

vs. 0% durch Abregelung oder vs. effizientere aber kapazitätslimitierte Speicheralternativen

Entwicklungsstand Power-to-Gas – chemisch - Methan

- Erste Pilotanlage am ZSW Stuttgart von Solar Fuel Technology GmbH



CH₄-Filling station
ca. 15 kg, 200 bar

25 kW-Pilot-Anlage: läuft
Experimente mit Biogas

CO₂-
Recovery



250 kW-Forschungs-Anlage:
Im Aufbau

Projekt: Power-to-Gas
ZSW: Verfahrenstechnik
IWES: Elektrotechnik, VWL
SolarFuel: BWL

Förderung:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

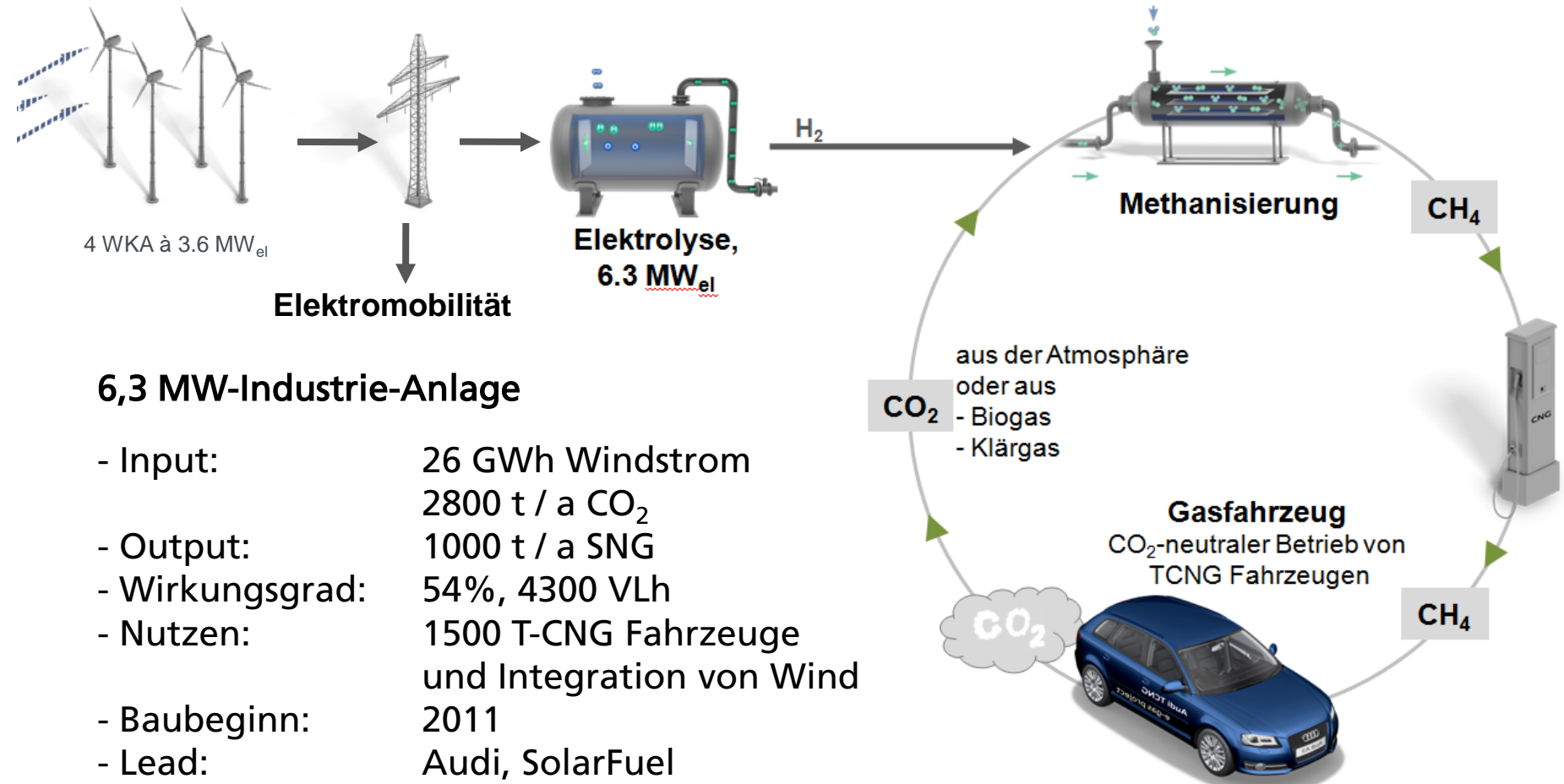
Electrolyser

Quellen: SolarFuel 2009,
Specht, Waldstein, Sterner et al., 2009



Entwicklungsstand Power-to-Gas – chemisch - Methan

- Erste industrielle Anlage in Werlte, Emsland von Audi, SolarFuel



6,3 MW-Industrie-Anlage

- Input: 26 GWh Windstrom
2800 t / a CO₂
- Output: 1000 t / a SNG
- Wirkungsgrad: 54%, 4300 VLh
- Nutzen: 1500 T-CNG Fahrzeuge und Integration von Wind
- Baubeginn: 2011
- Lead: Audi, SolarFuel
- Partner: EWE, (ZSW, IWES)

www.audi-balanced-mobility.de

Quelle: Audi 2011

Entwicklungsstand Power-to-Gas



Energie-Genossenschaft aus Überzeugung.

RÜCKENWIND
für die
Energiewende:
pro **WINDGAS.**

Das erste Gasangebot zur Förderung der Windgas-Technologie.

Audi balanced mobility



P2G Hamburg – Vattenfall AG
In Betrieb

P2G Hamburg - E.ON Hanse AG
In Planung
Einspeisung

P2G Werlte - Audi AG
Laufendes Projekt
Einspeisung, Methanisierung

P2G Dortmund - DEW 21
In Planung
Einspeisung

P2G Bottrop - EGLV
In Planung

P2G Herten - Evonik
In Betrieb
Einspeisung in H2-Netz

P2G Karlsruhe - DVGW-EBI
In Planung
Methanisierung

P2G Stuttgart - SolarFuel GmbH
Eine Anlage in Betrieb, Eine Anlage in Planung
Methanisierung

P2G Stuttgart - EnBW AG
In Planung
Wasserstofftankstelle

P2G Rostock – FH Lübeck Forschungs-GmbH
Laufendes Projekt

P2G Lübeck – NEMO-Netzwerk
Laufendes Projekt

P2G Grapzow (RH₂-WKA) - WIND-Projekt Gruppe
Laufendes Projekt
Einspeisung

P2G Prenzlau - ENERTRAG AG
In Betrieb
Keine Einspeisung

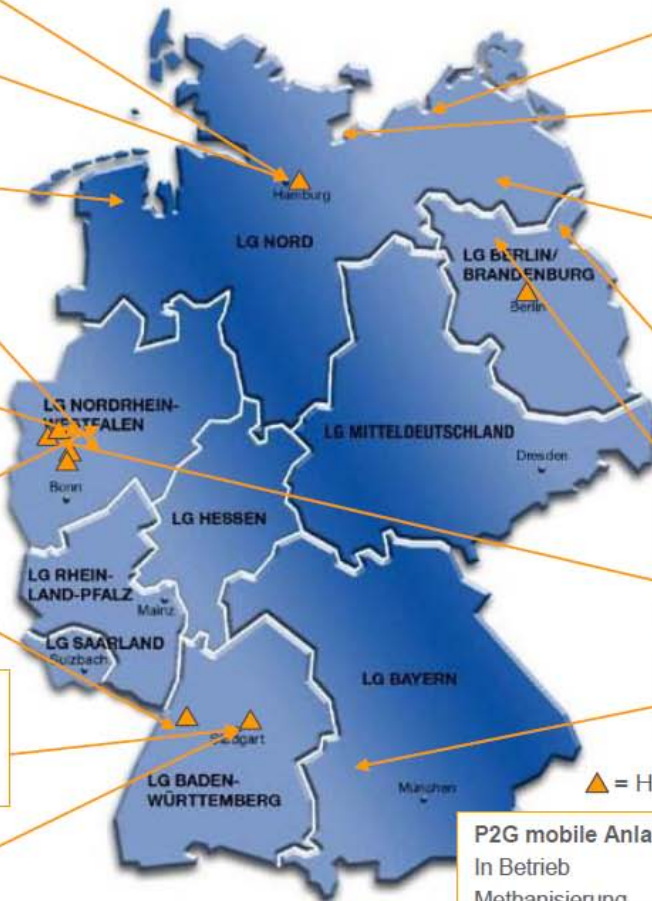
P2G Falkenhagen - E.ON AG
Laufende Projekt
Einspeisung

P2G Leverkusen - Bayer
Laufendes Projekt
Einspeisung

P2G Graben - Erdgas Schwaben GmbH
In Planung
Einspeisung, Methanisierung

P2G mobile Anlage SolarFuel GmbH
In Betrieb
Methanisierung

P2G Greenpeace Energy
In Planung
Einspeisung



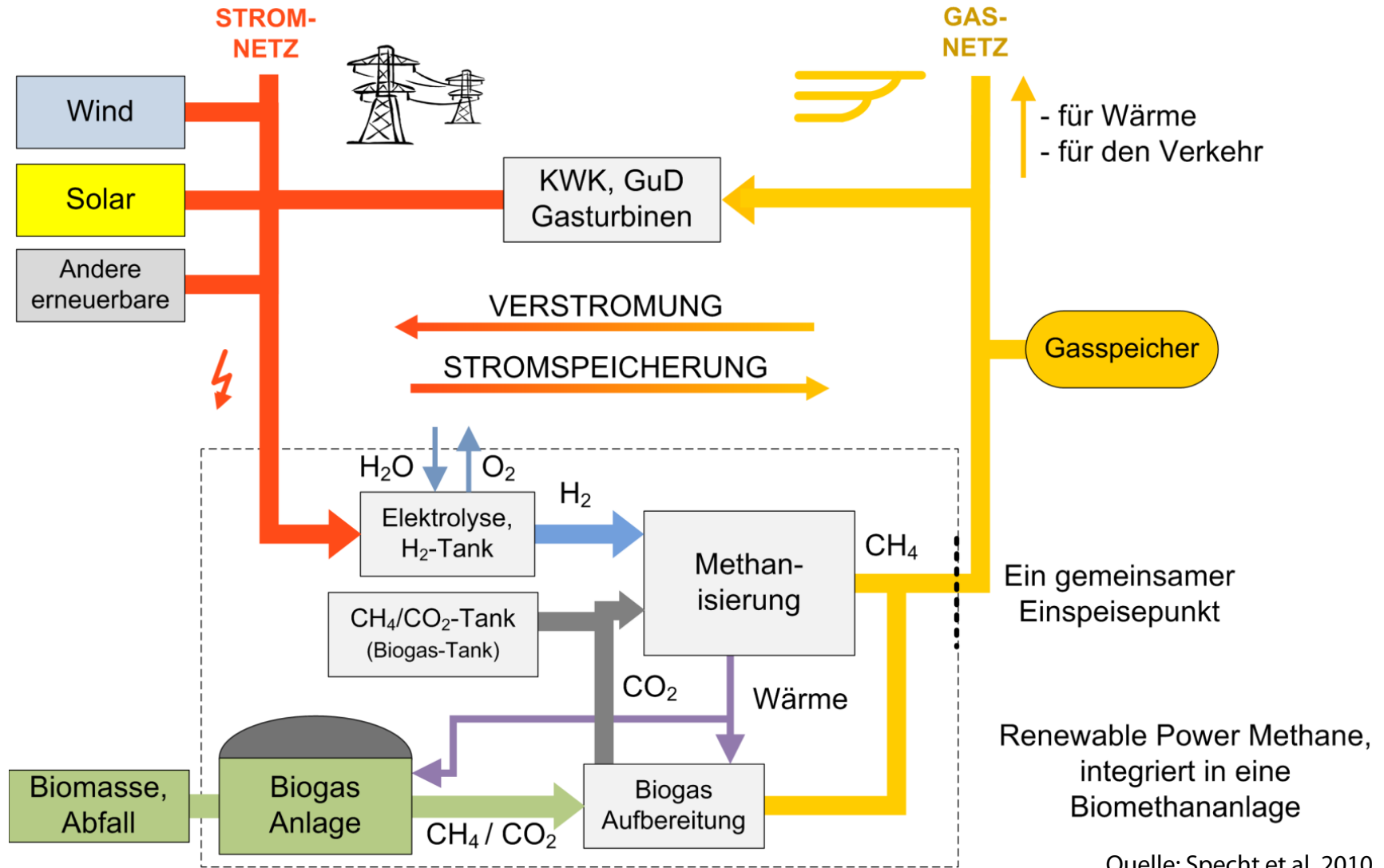
▲ = H2-Tankstelle



Quelle: Linke (E-ON), 2012

Einbindung von Biogasanlagen als CO₂-Quelle

Verdopplung des Ertrages von Biogasanlagen durch Zusatz Windgas



Quelle: Specht et al, 2010
Sternier, 2009

Chancen von Power-to-Gas

- **Nutzung der vorhandenen Infrastruktur**
 - Pipelines, Speicher, Kraftwerke, BHKW, Herde, Heizungen, Fahrzeuge
 - Austauschgas (Methan) statt Zusatzgas (Wasserstoff)
 - **Erschließt enorme Speicherkapazitäten**
 - Langzeitspeicherung von EE im Erdgasnetz – „ohne“ Begrenzung
 - CH₄ (Erdgas) Langzeitspeicherung technisch erprobt und vorhanden
 - **CO₂-neutraler Energieträger auch für Verkehr und Wärme**
 - hohe Energiedichte, keine Begrenzung der KFZ-Reichweite
 - weniger Konkurrenz zu Nahrung bzw. landwirtschaftlichen Nutzflächen
 - **Minderung der Importabhängigkeit von Erdgas und Transportstaus**
 - Übertragungskapazität von Gas vs. Strom: eine Größenordnung höher
 - Vermeidung von Übertragungsnetzengpässen (Redispatch) und deren Kosten
 - „Gas“ aus der Sahara – Pipeline zw. Algerien und Spanien vorhanden
-

Risiken von Power-to-Gas

■ Überzogene Erwartungen → Enttäuschung → Verzögerung

- Technologie generell sehr alt aber gleichzeitig sehr jung in der Energietechnik
- Technologieentwicklung & Kostensenkung vorantreiben – Vermeiden v. „Growian“
- Push aus dem Stromsektor nicht abzusehen → Pull aus Mobilität / Wärme?
- Roadmap Power-to-Gas & Einbindung Fahrplan Energiewende angebracht

■ Atomgas, Kohlegas, Erdgas-to-Gas

- Energetischer Kurzschluss im Energiesystem durch $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{el}} \rightarrow E_{\text{chem}}$
- Wirtschaftlichkeit nur gegeben bei hohen Vollaststunden
→ Verstetigung fossiler / nuklearer Einspeisung möglich (Chance? / Risiko?)
- Benchmark von „Graugas“ = fossiles Gas → keine Wirtschaftlichkeit zu erwarten
- Wärmemarkt: Alternative Heizstab → setzt Erdgas ca. doppelt so effizient & für einen Bruchteil der Kosten frei für Mobilität / Strom

■ Greenwashing fossiler Energie

- CO₂– Quelle für Klimabilanz von Power-to-Gas irrelevant, da klimaneutral
 - Kann jedoch keine CO₂– Senke für fossile Kraftwerke sein
→ Emissionshandel: fossile Emissionen bleiben beim fossilen Brennstoffnutzer
-

Inhalt

1) Was führt uns zu Power-to-Gas?

Gasspeicher als Schlüsselement in der Energiewende

2) Wie funktioniert Power-to-Gas?

Technologie, Kosten, Chancen, Risiken

3) **Wie schaut der Weg für Power-to-Gas aus?**

Eckpfeiler der Energiewende

Zukunftschance Windkraftstoffe, Solarkraftstoffe

4) Zusammenfassung

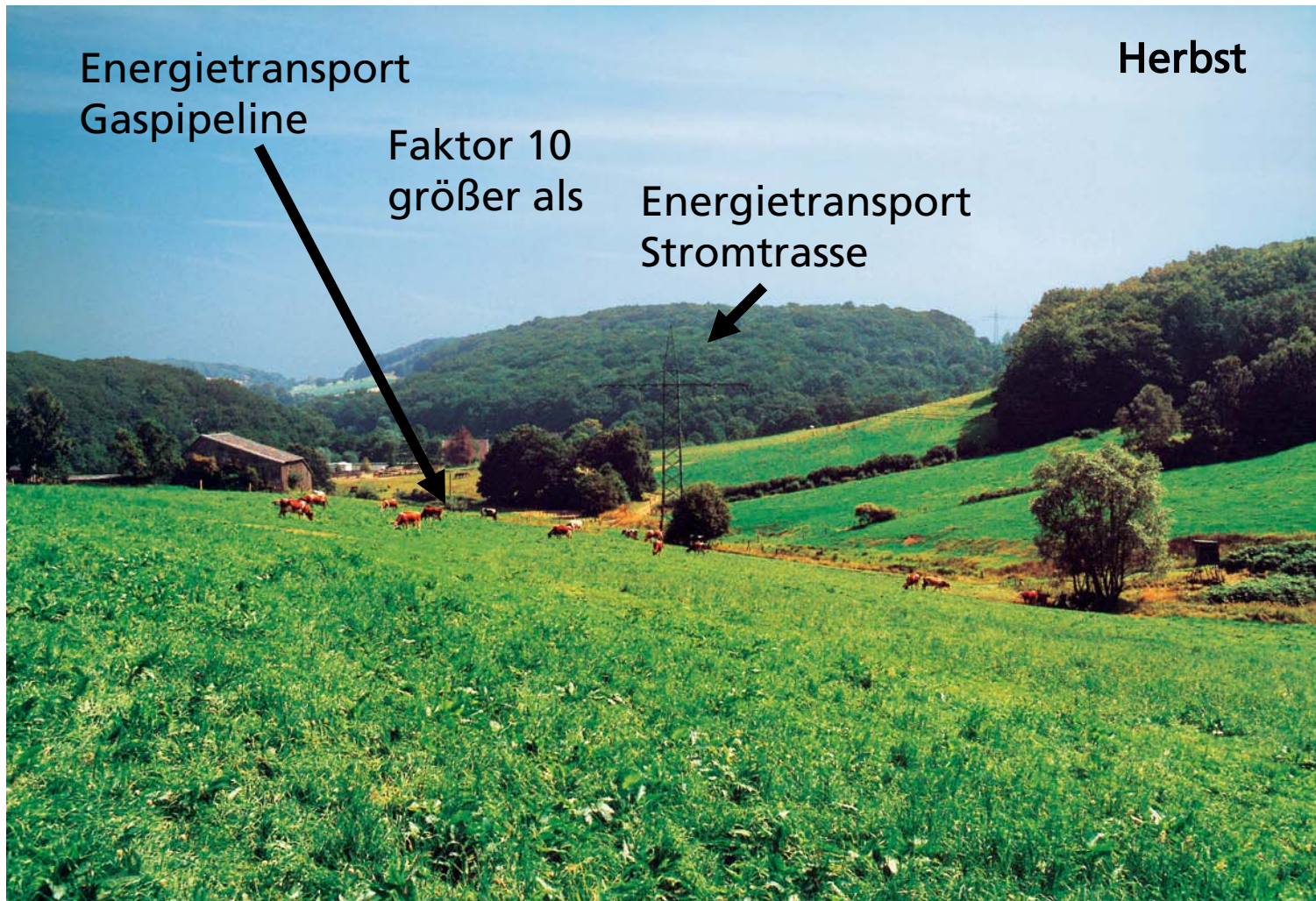
Netzausbau Strom vs. Gas Pipeline nach Belgien/UK... (WEDAL Bau)



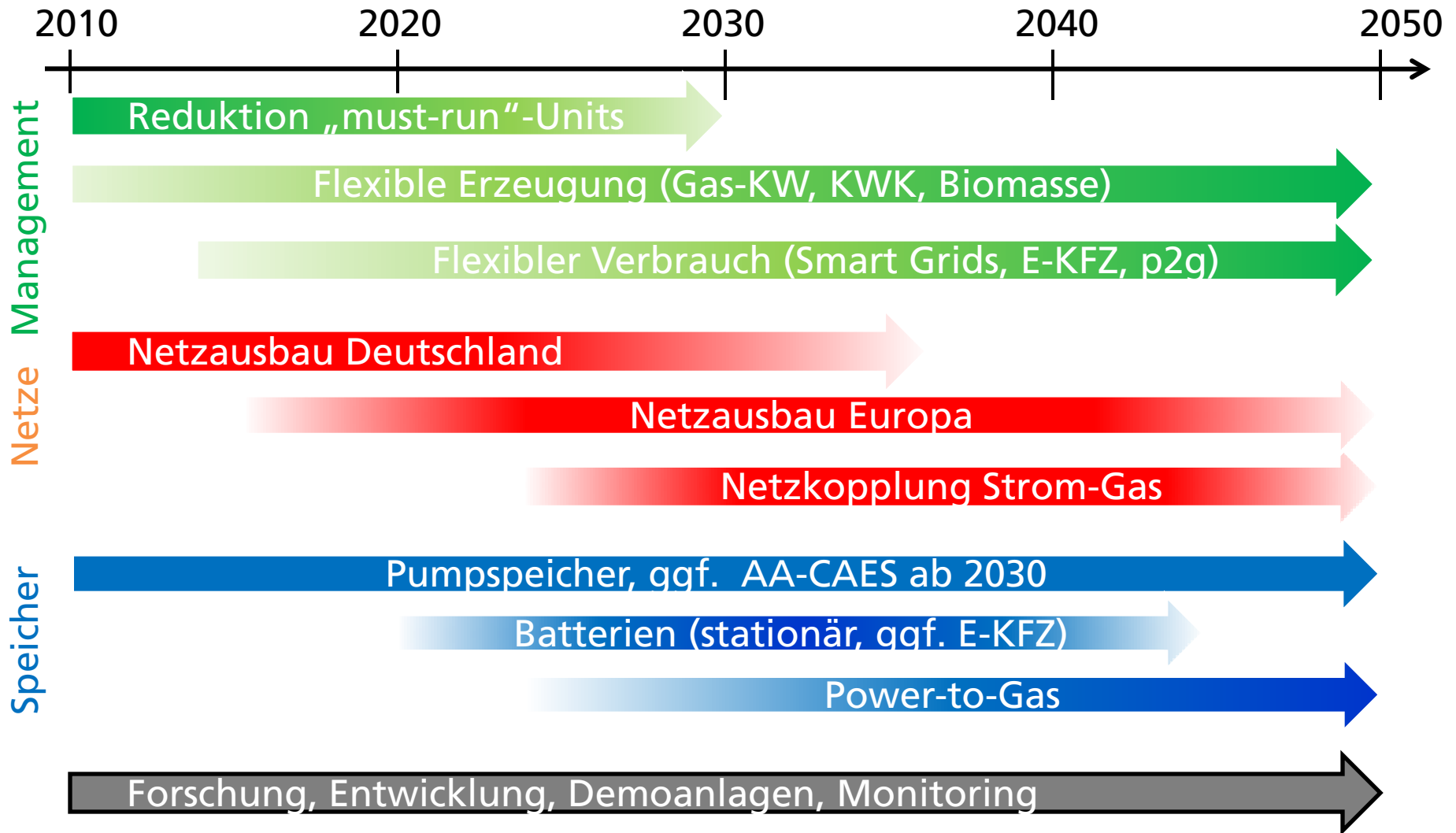
Frühjahr

Quelle: Bauer, Wingas Transport 2011

Netzausbau Strom vs. Gas Pipeline nach Belgien/UK... (WEDAL Bau)

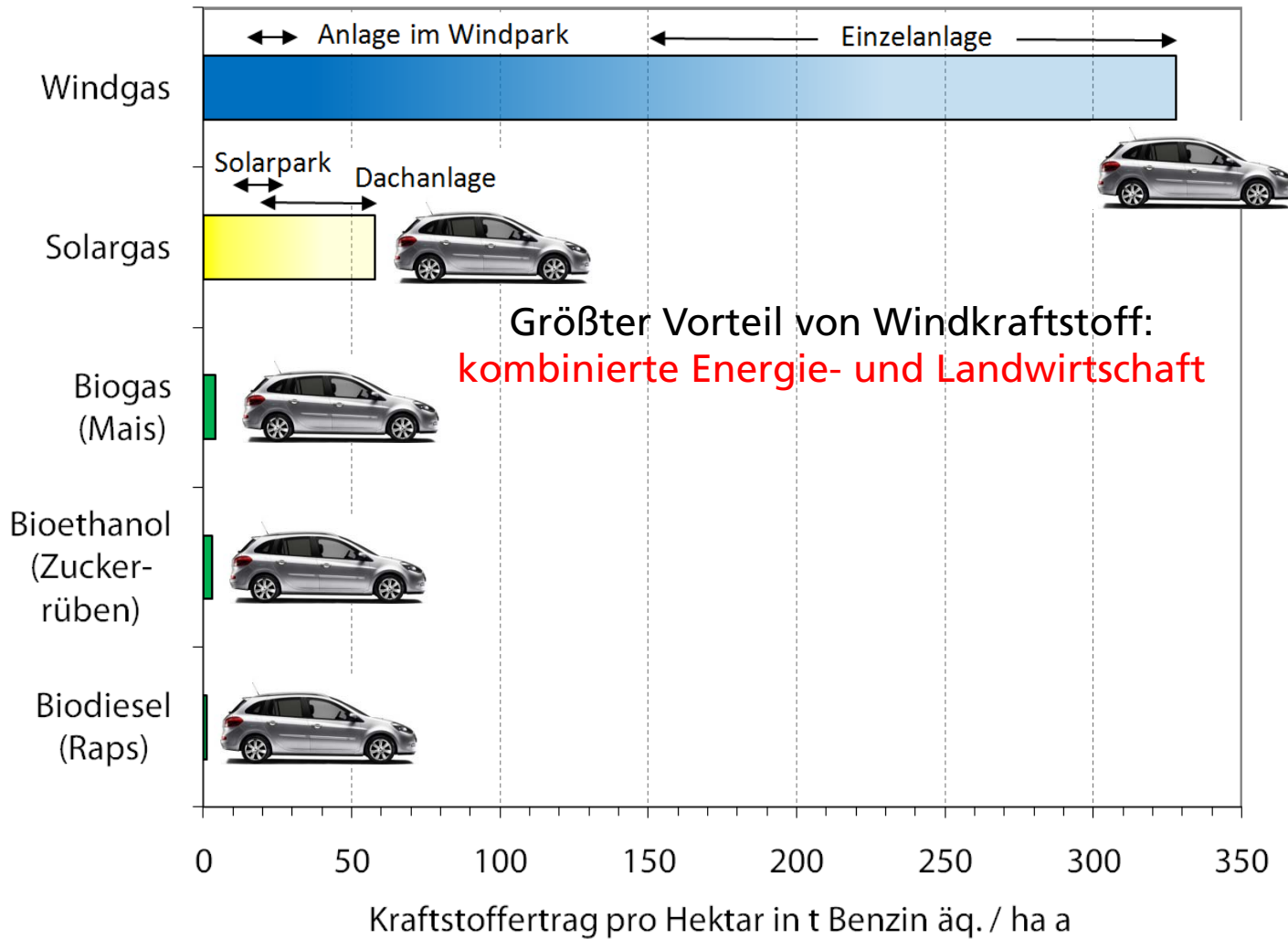


Roadmap Energiewende Systemtransformation Strom - nationale Sicht



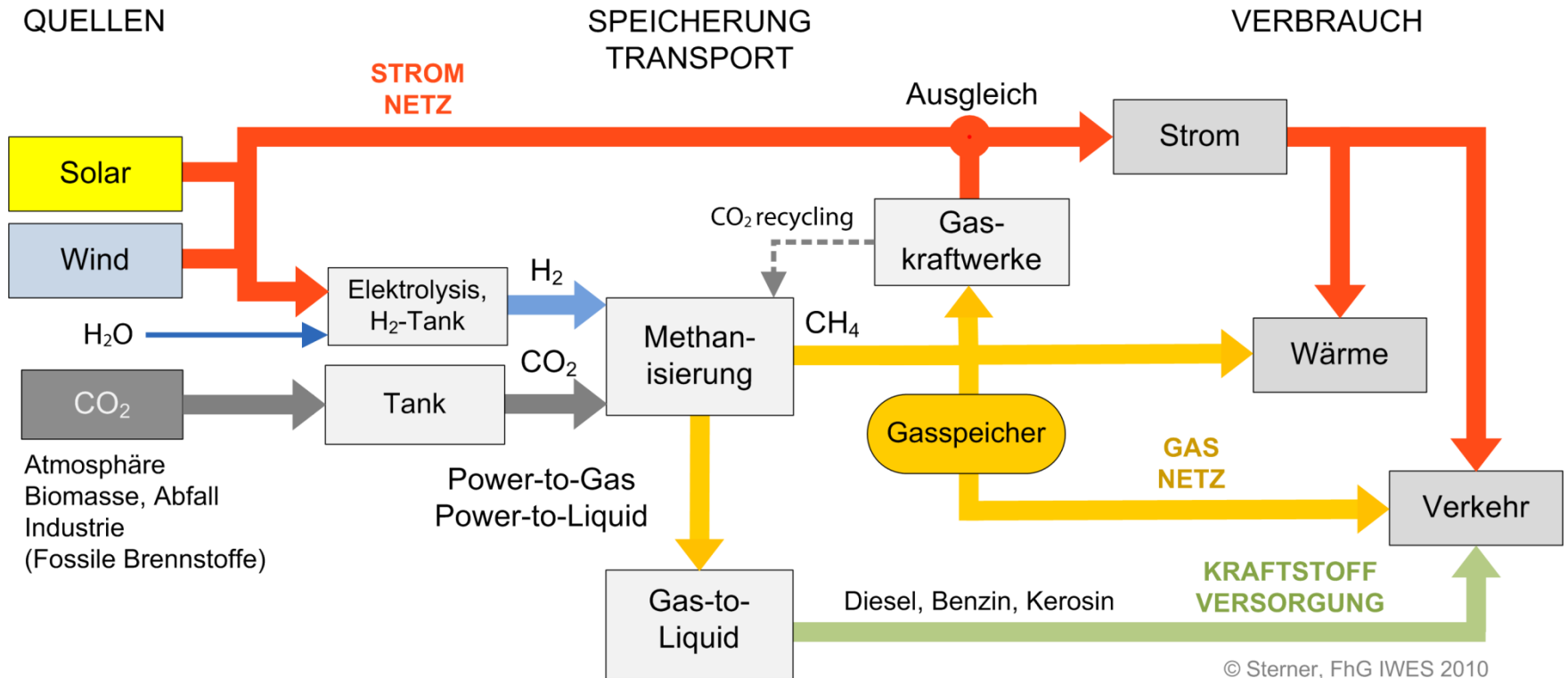
Biokraftstoffe und Wind- und Solarkraftstoffe

Hektarertrag für regenerativen Kraftstoff in t Benzin-Äquivalente



Power-to-Gas – Power-to-Liquid – Gas als Dreh- und Angelpunkt

Energiespeicherung durch Kopplung der Energienetze Strom, Gas, Kraftstoff



Inhalt

1) Was führt uns zu Power-to-Gas?

Gasspeicher als Schlüsselement in der Energiewende

2) Wie funktioniert Power-to-Gas?

Technologie, Kosten, Chancen, Risiken

3) Wie schaut der Weg für Power-to-Gas aus?

Eckpfeiler der Energiewende

Zukunftschance Windkraftstoffe, Solarkraftstoffe

4) Zusammenfassung

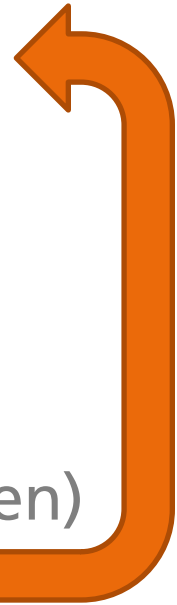
Wind & Solar können eine stabile Stromversorgung alleine nicht gewährleisten

4 Ausgleichsmaßnahmen werden notwendig:

1. Flexible Kraftwerke (v.a. Erdgas)
2. Stromnetze (Netzausbau)
3. Lastmanagement (smart grid)
4. Speicher

Kurzzeitspeicher (Pumpspeicher, Batterien)
Langzeitspeicher (Norwegen, Gasnetz)

Wind & Solar in das Gasnetz über Power-to-Gas



Das Zusammenwachsen der Energienetze ist sinnvoll

■ Lösung des Speicherproblems

- Bisher Nutzung von gespeicherter „fossiler“ Solarenergie
Solar → Biomasse (+ Zeit + Druck + Temperatur) → Fossil
- Regenerativer Ersatz:
 - Biomasse begrenzt – Geothermie & Wasserkraft auch
 - günstigste/potentialreichste EE: Strom aus Wind und Solar
 - Ressource in unmittelbarer Form nicht lagerbar → Windgas / Solargas

■ All-Electric-World → Interaktion aller Energiesektoren

- Stromversorgung ↔ Mobilität
- Stromversorgung ↔ Gasversorgung
- Stromversorgung ↔ Mineralölwirtschaft

■ P2G als eine Lösung für zwei Kernprobleme der Energiewende

- Langzeitspeicher: stabile Stromversorgung auch mit Wind & Solar
 - CO₂-neutrale Mobilität in der Fläche ohne Einschränkung bei Reichweiten oder Potential
-

Informationen und Quellen (1)

- Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems. Kassel University, Dissertation.
<http://www.upress.uni-kassel.de/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2>
 - Sterner, M., Jentsch, M. (2011): Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Gutachten für Greenpeace Energy. Fraunhofer IWES, Kassel. <http://www.greenpeace-energy.de/windgas/windgas-idee-mit-zukunft.html>
 - Sterner, M.; Specht, M.; Ebert, G. (2010): Technologievergleich einer regenerativen Energieversorgung des Verkehrs. FVEE Jahreskonferenz 2010, Berlin.
 - Jentsch, M.; Sterner, M. (2010): Betriebskonzepte von SolarFuel Anlagen und deren Wirtschaftlichkeit. Fraunhofer IWES, Kassel.
 - Nitsch (DLR), Sterner (IWES), Wenzel (IfnE) et al (2011): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global „Leitstudie 2010“ BMU - FKZ 03MAP146. Berlin, Stuttgart, Kassel.
http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/47034.php
 - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) – Basisdaten Bioenergie 2011, Gülzow
 - Linke, G. (2012): Smart Gas Grids – Anforderungen und Möglichkeiten zur EE-Integration“; ETP-Konferenz - Energy Innovation Days, Berlin
-

Informationen und Quellen (2)

- WBGU (2011): Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Hauptgutachten 2011. Berlin: WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. <http://www.wbgu.de>
 - Krajete, A. (2011): Green Thitan. <http://www.greenthitan.com/>, Linz.
 - Audi (2011): <http://www.audi-balanced-mobility.de>. Ingolstadt
 - Specht, M.; Baumgart, F.; Feigl, B.; Frick, V.; Stürmer, B.; Zuberbühler, U.; Sterner, M.; Waldstein, G. (2010): Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz. FVEE Jahrestagung 2009. Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien. FVEE, Berlin.
 - Klaus, T., Sterner, M., et al. (2010): Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Deutsches Umweltbundesamt, Dessau. <http://www.uba.de>
 - Sterner, M. et al(2010): Energiewirtschaftliche Bewertung von Pumpspeicherwerken und anderen Speichern im zukünftigen Stromversorgungssystem. Studie für Schluchseewerke AG. Fraunhofer IWES, Kassel. <http://www.schluchseewerk.de/105.0.html>
-

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

Hochschule Regensburg

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Fraunhofer Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik

Wissenschaftl. Leitung Energiewirtschaft und Systemanalyse

+ 49 – (0) 941 – 943 9888

michael.sterner@hs-regensburg.de

www.power-to-gas.de

Vielen Dank
